Berechnung der Oberflächentemperatur der Venus mit dem konvektiv-adiabatischen Modell

Von Dr.-Ing. Bernd Fleischmann, info@klima-wahrheiten.de, www.klima-wahrheiten.de, Stand: 5.2.2023

Laut NASA hat auf der Venus die Intensität der Sonneneinstrahlung einen Wert von S_{max} = 2601 W/m² (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html).

Die geschlossene Wolkendecke, die dichte Atmosphäre und die hohen Wolkengeschwindigkeiten von mehr als 350 km/h sorgen dafür, dass die Oberflächentemperaturen sehr ausgeglichen sind. Die Variation beträgt nur wenige Prozent, im Vergleich zu ±22 % auf der Erde. Man kann deshalb für die Venus die Vereinfachung anwenden, dass sie horizontal (breitengrad- und längengradmäßig) gleich sind, um zu einer guten Näherung für die Oberflächentemperatur zu kommen. Wir verteilen also die eintreffende Sonnenstrahlung gleichmäßig über die Venus (das bedeutet wir müssen – Verhältnis Scheibenfläche zu Kugeloberfläche - durch 4 teilen) und ziehen den Teil ab, der reflektiert oder über den Wolken absorbiert wird. Die Albedo (Reflexion) ist laut NASA Factsheet 77 %. Die Absorption über den Wolken wird dominiert von Schwefeldioxid und vom Absorptionsband des Kohlendioxids bei 2,8 µm. Dafür habe ich einen Wert von 1 % angenommen. Das ist halb so viel, wie man für die Erde gemessen hat, wo Ozon der dominante Absorber ist, der auf der Venus fehlt. 98 % der Strahlung wird in den Wolken absorbiert (http://clivebest.com/blog/?p=4048). Damit erhalten wir eine effektive absorbierte Intensität I_{eff} von

$$I_{eff} = S_{max}\,(1 - 0{,}77) \cdot (1 - 0{,}01) \cdot 0{,}98 / 4 = 145\ \mathrm{W/m^2}$$

Mit dem Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann

$$I = \varepsilon\, \sigma\, T^4$$

der Vereinfachung für die Emissivität $\varepsilon = 1$ und der Strahlungskonstante $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^8\ \mathrm{W/(m^2K^4)}$ erhalten wir

$$T_1 = (I_{eff} / (\varepsilon\, \sigma))^{1/4} = 225\ \mathrm{K}$$

Welche Temperatur ist das jetzt? Natürlich nicht die am Boden, denn da kommt die Sonnenstrahlung ja nicht hin wegen der geschlossenen Wolkendecke. $\mathbf{T_1}$ ist die Temperatur, die sich an der Oberkante der Wolken einstellt. Dort wird die Sonnenstrahlung absorbiert. Die Wolken emittieren Infrarotstrahlung entsprechend ihrer Temperatur. Absorbierte und abgestrahlte Energie sind langfristig im Gleichgewicht, sonst würde sich die Venus ständig aufheizen oder abkühlen. Die effektive Wolkenoberkante ist in einer Höhe von 65 km bis 70 km und der atmosphärische Druck, der etwas vom Breitengrad (Abstand vom Venusäquator) abhängt, beträgt in dieser Höhe $\mathbf{p_1 = 0{,}15}$ **bar**. Das ist der Mittelwert verschiedener Messungen und Modelle (Taylor et al., 2009; Titov al., 2018, Limaye et al., 2017; Robinson und Catling, 2012). Der Druck an der Venus-Oberfläche ist $\mathbf{p_0 = 92}$ **bar**, fast 100 Mal so hoch wie auf der Erde.

Bei der Temperatur von 225 K (-48 °C) ist die Schwefelsäure, aus der die Wolken bestehen, gefroren. Es sind Schwefelsäurekristalle, zumindest in den oberen 5 km der Wolken. Tiefer in der Atmosphäre haben wir es dann mit Tropfen zu tun und mit Schwefelsäureregen. Um die Gleichung von Maxwell anwenden zu können, benötigen wir noch das Wärmekapazitätsverhältnis der Venusatmosphärengase. Bei 96,5 % CO2 und 3,5 % N2 ergibt sich ein Wert von $\boldsymbol{\gamma = 1{,}3}$. Um Phasenübergänge in der Atmosphäre (Kondensation, Verdampfung, Gefrieren, Schmelzen) zu berücksichtigen, verwenden wir einen Korrekturfaktor k mit dem Wert 0,8 für den Exponenten, weil es die NASA seit 60 Jahren auch so macht. (https://www.researchgate.net/publication/236842439_An_Analytic_Radiative-Convective_Model_for_Planetary_Atmospheres)

$$T_1 / T_0 = (p_1 / p_0)^{k(\gamma-1)/\gamma}$$

Jetzt haben wir alles, um $\mathbf{T_0}$**, die Temperatur auf der Venusoberfläche** zu berechnen. Das Ergebnis ist

$$T_0 = 736\ K = 463\ °C$$

Die NASA hat für die Oberflächentemperatur der Venus im Mittel 464 °C gemessen, also nur 1 °C mehr. (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html). Das war eine ziemlich einfache Rechnung mit dem konvektiv-adiabatischen Modell und auch noch ziemlich richtig, auch wenn das Ergebnis davon profitiert, dass sich ein paar Vereinfachungen gegenseitig kompensieren.

In der Venus-Atmosphäre herrscht konvektives Gleichgewicht und die Temperatur verändert sich adiabatisch mit der Höhe. Gäbe es einen zusätzlichen Treibhauseffekt durch Gegenstrahlung von Kohlendioxid-Molekülen, wären der Temperaturgradient und die Temperatur an der Oberfläche viel höher als die gemessenen Werte.

Der NASA-Physiker und Pulitzer-Preisträger Carl Sagan hat 1960 ebenfalls versucht, die Temperatur der Venus mit der Adiabatengleichung von Poisson und Maxwell zu berechnen. Weil die Dicke der Venusatmosphäre und der Druck auf der Oberfläche damals falsch geschätzt wurden, erhielt er eine zu niedrige Temperatur. Deswegen hat er einen „galoppierenden Treibhauseffekt" durch das Kohlendioxid (runaway greenhouse effect) postuliert (NASA Technical Report No. 32-34, The Radiation Balance of Venus, 1960), um die Diskrepanz zwischen der adiabatischen Berechnung und der beobachteten Temperatur zu erklären.

Hätte Sagan damals Kenntnisse über die tatsächlichen Temperatur- und Druckverhältnisse der Venus gehabt, gäbe es das Postulat des „galoppierenden Treibhauseffekts" nicht, woran viele bis heute glauben.

Aufschlussreich ist auch die Berechnung der Temperatur der Venus mit einer Zusammensetzung der Atmosphäre, wie wir sie auf der Erde haben, also im wesentlichen Stickstoff und Sauerstoff plus 1 % Argon, woraus sich ein effektives γ_{EA} (EA = Erdatmosphäre) von 1,402 ergibt. Wir nehmen den gleichen Korrekturfaktor k = 0,8 (das bedeutet die Atmosphäre ist etwas trockener als auf der Erde im Mittel). Weil Stickstoff- und Sauerstoff-Moleküle wesentlich leichter sind als Kohlendioxid-Moleküle berücksichtigen wir das (mittlere molare Masse Erdatmosphäre: 28,79 g/mol, Venus: 43,45 g/mol). Es errechnet sich daraus ein Druck am Boden von p_{0EA} = 61 bar statt zuvor 92 bar. Die Albedo und die Sonnenintensität lassen wir gleich und setzen die Werte in die bekannte Formel ein:

$$T_1 / T_{0EA} = (p_1 / p_{0EA})^{k(\gamma_{EA}-1)/\gamma_{EA}}$$

Ergebnis: $T_{0EA} = 892\ K = 619\ °C$

Wäre die Venusatmosphäre wie die Erdatmosphäre zusammengesetzt, also Stickstoff und Sauerstoff statt Kohlendioxid, wäre ihre Oberflächentemperatur um mehr als 150 °C höher!

Und welche Temperatur berechnen die Treibhaustheoretiker für die Venus? Mir ist keine plausible und halbwegs richtige Berechnung mittels Treibhaustheorie (Strahlungsgleichgewicht) bekannt. Man liest nur die üblichen, abgedroschenen Phrasen, z.B. von den Professoren Schellnhuber und Rahmstorf (Zitat aus https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/30101/klimawandel-einige-fakten/?p=all): *„Auf der Venus herrschen siedend heiße 460 Grad. Grund dafür ist ein extremer Treibhauseffekt: Die Atmosphäre der Venus besteht zu 96 Prozent aus Kohlendioxid."* Ja, das war es schon. Sie unternehmen nicht einmal den Versuch einer Berechnung. Oder sie haben es versucht, sind gescheitert und verschleiern es. Den gleichen Fehler vom galoppierenden Treibhauseffekt verbreitet Prof. Lesch (https://www.zdf.de/wissen/frag-den-lesch/die-venus-und-ihre-atmosphaere-102.html, Minute 11:20).

Damit haben die Professoren Schellnhuber, Rahmstorf und Lesch, die Aushängeschilder der deutschen Klimaforschung, ihr mangelndes Verständnis für die Physik der Planetenatmosphären und die Unkenntnis der aktuellen Literatur gezeigt.